



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 101 31 251 A 1

51 Int. Cl.⁷:
G 01 R 23/02

21 Aktenzeichen: 101 31 251.2
22 Anmeldetag: 28. 6. 2001
43 Offenlegungstag: 23. 1. 2003

DE 101 31 251 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Rohrecker, Leopold, Dr., Wien, AT

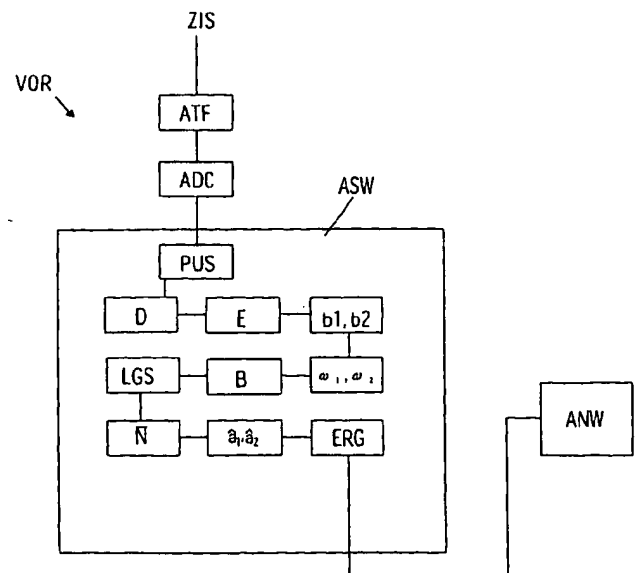
56 Entgegenhaltungen:
BRANADO, A.L., ROMANO, J.M.T.: An Adaptive Notch Filter for Frequency and Power Estimation with Application in Telephone Signaling Codes. In: Proceedings of International Telecommunications Symposium ITS'90, 1990, Seiten 312-316;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Messung der Frequenzen und Amplituden bei Mehrtonsignalen

57 Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung von Frequenzen (ω_1, ω_2) und Amplituden (\hat{E}_1, \hat{E}_2) eines zumindest zwei Frequenzen (ω_1, ω_2) enthaltenden Mehrtonsignals (ZSI), wobei anhand des Mehrtonsignals eine der Anzahl von Frequenzen (ω_1, ω_2) entsprechende Anzahl von Filterkoeffizienten (a_1, a_2) von Notchfiltermodellen ($H_1(z), H_2(z)$) berechnet wird, wobei die Filterkoeffizienten (a_1, a_2) so berechnet werden, dass bei Durchgang des Mehrtonsignals durch eine durch die Filterkoeffizienten (a_1, a_2) definierte Kombination ($H(z)$) von Notchfiltermodellen ($H_1(z), H_2(z)$) die Ausgangsleistung (A^2) minimal ist.



DE 101 31 251 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Frequenzen und Amplituden eines zumindest zwei Frequenzen enthaltenden Mehrtonsignals.

5 [0002] Weiters betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Bestimmung von Frequenzen und Amplituden eines zumindest zwei Frequenzen enthaltenden Mehrtonsignals.

[0003] Mehrtonsignale, insbesondere Zweitonsignale, werden häufig eingesetzt, um Signalisierungsinformationen zu übertragen, beispielsweise bei der Übertragung von Wahlinformationen bei Telefonen im Sprachband, bei Zwischenamt-signalisierungen, bei Fernsteuerungsanwendungen (Anrufbeantworter . . .), etc. Aufgabe der Erfindung ist es, einen Weg
10 zu schaffen, Frequenzen und Amplituden eines Mehrtonsignals, insbesondere eines Zweitonsignals zu bestimmen, um anhand dieser Signalparameter die Signalisierungsinformation zu erhalten und einer weiteren Verarbeitung zugänglich zu machen.

[0004] Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass anhand des Mehrtonsignals eine der Anzahl von Frequenzen entsprechende Anzahl von Filterkoeffizienten von Notchfiltermodellen berechnet wird, wobei die Filterkoeffizienten so berechnet werden, dass bei Durchgang des Mehrtonsignals durch eine durch die Filterkoeffizienten definierte Kombination von Notchfiltermodellen die Ausgangsleistung minimal
15 ist. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich sowohl die Frequenzen als auch die Amplituden eines Zweitonsignals sowie die Energie des dem Zweitonsignal überlagerten Störsignals auf einfache Weise eindeutig bestimmen.

[0005] Vorteilhafterweise wird das Zweitonsignal, wenn es als analoges Signal vorliegt in eine digitalisierte Form in Form eines Datenvektors (x_n) gebracht, aus welchem eine Matrix (D) der Form
20

$$D = \begin{bmatrix} x_4 + x_0 & x_3 + x_1 & x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N-1} + x_{N-5} & x_{N-2} + x_{N-4} & x_{N-3} \end{bmatrix}$$

25

gebildet wird.

[0006] In einem nächsten Schritt können aus den noch unbekannten Filterkoeffizienten der einzelnen Notchfiltermodelle zumindest zwei Filterkoeffizienten der Kombination der Notchfiltermodelle gebildet werden, und aus den Filterkoeffizienten der Kombination von Notchfiltermodellen kann ein Vektor der Form $b = [1, b_1, b_2]^T$ gebildet werden. Die
30 Komponenten b_1 und b_2 dieses Vektors stellen die noch unbekannten Filterkoeffizienten der Kombination von Notchfiltermodellen dar.

[0007] Liegt das Mehrtonsignal als Zweitonsignal vor so können für zumindest zwei Filterkoeffizienten der Kombination der Notchfiltermodelle die Beziehungen $b_1 = a_1 + a_2$ und $b_2 = a_1 a_2 + 2$ gelten.

35 [0008] Zur Bestimmung der Filterkoeffizienten kann eine quadratische Form der Gestalt $b^T D^T D b$ minimiert werden.

[0009] Die Frequenzen des Mehrtonsignals können nach den Formeln $\omega_1 = \arccos(-a_1/2)$, $\omega_2 = \arccos(-a_2/2)$ und $\omega_n = \arccos(-a_n/2)$ berechnet werden, wobei a_1 , a_2 und a_n die Filterkoeffizienten der einzelnen Notchfiltermodelle sind.

[0010] Ist das Mehrtonsignal ein Zweitonsignal so hängen die Filterkoeffizienten der beiden einfachen Notchfiltermodelle mit den Filterkoeffizienten der Kombination der Notchfiltermodelle bzw. des Doppelnotchfiltermodells nach folgenden Formeln zusammen:
40

$$a_1 = b_1 / 2 - \sqrt{b_1^2 / 4 + 2 - b_2} ,$$

$$45 \quad a_2 = b_1 / 2 + \sqrt{b_1^2 / 4 + 2 - b_2} .$$

[0011] Zur Bestimmung der Amplituden kann der Datenvektor (x_n) in folgende Form gebracht werden:

$x_n = c_1 \cos(n\omega_1) + s_1 \sin(n\omega_1) + c_2 \cos(n\omega_2) + s_2 \sin(n\omega_2) + \epsilon_n$, wobei $n = \in \mathbb{N}$ gilt,

und c_1 , s_1 , c_2 , s_2 Amplitudenwerte und die ϵ_n kleine Fehlerwerte sind, wobei die Amplitudenwerte c_1 , s_1 , c_2 , s_2 so bestimmt werden, dass die Summe der Quadrate der ϵ_n minimal wird und der Wert dieser Fehlerquadratsumme die Energie der überlagerten Störung angibt. Über die Frequenzen gehen die Filterkoeffizienten in die Form $x_n = c_1 \cos(n\omega_1) + s_1 \sin(n\omega_1) + c_2 \cos(n\omega_2) + s_2 \sin(n\omega_2) + \epsilon_n$, des Datenvektors ein. D. h. bei Kenntnis der Filterkoeffizienten können sowohl die Frequenzen als auch die Amplituden des Mehrtonsignals sowie die Energie der dem Mehrtonsignal überlagerten Störung berechnet werden.
50

55 [0012] Vorteilhafterweise werden die Amplituden des Zweitonsignals nach folgenden Formeln berechnet:

$$\hat{a}_1 = \sqrt{c_1^2 + s_1^2} \quad \text{und}$$

$$60 \quad \hat{a}_2 = \sqrt{c_2^2 + s_2^2} .$$

[0013] Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eignet sich insbesondere eine Vorrichtung der eingangs genannten Art, welche dazu eingerichtet ist, anhand des Mehrtonsignals eine der Anzahl von Frequenzen entsprechende Anzahl von Filterkoeffizienten von Notchfiltermodellen zu berechnen, wobei sie dazu eingerichtet ist, die Filterkoeffizienten so zu berechnen, dass bei Durchgang des Mehrtonsignals durch eine durch die Filterkoeffizienten definierte Kombination von Notchfiltermodellen die Ausgangsleistung minimal ist.
65

[0014] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist die Vorrichtung dazu eingerichtet, ein als analoges Signal vorliegendes Zweitonsignal in eine digitalisierte Form in Form eines Datenvektors zu bringen, und aus dem Daten-

vektor eine Matrix der Form

$$D = \begin{bmatrix} x_4 + x_0 & x_3 + x_1 & x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N-1} + x_{N-5} & x_{N-2} + x_{N-4} & x_{N-3} \end{bmatrix}$$

zu bilden.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann die Vorrichtung dazu eingerichtet sein, aus den noch unbekannten Filterkoeffizienten der einzelnen Notchfiltermodelle zumindest zwei Filterkoeffizienten der Kombination der Notchfiltermodelle zu bilden, und aus den Filterkoeffizienten der Kombination einen Vektor der Form $b = [1, b_1, b_2]^T$ zu bilden, wobei b_1 und b_2 die noch unbekannten Filterkoeffizienten der Notchfilterkombination bedeuten.

[0016] Liegt das Mehrtonsignal als Zweitonsignal vor so gelten für die zwei Filterkoeffizienten der Kombination der Notchfiltermodelle die Beziehungen $b_1 = a_1 + a_2$ und $b_2 = a_1 a_2 + 2$.

[0017] Weitere Vorteile lassen sich dadurch erzielen, dass die Vorrichtung dazu eingerichtet ist, eine quadratische Form der Gestalt $b^T D^T D b$ zur Bestimmung der Filterkoeffizienten der Kombination der Notchfiltermodelle zu minimieren.

[0018] Weiters kann die Vorrichtung dazu eingerichtet sein, die Frequenzen des Mehrtonsignals nach den Formeln $\omega_1 = \arccos(-a_1/2)$, $\omega_2 = \arccos(-a_2/2)$ und $\omega_n = \arccos(-a_n/2)$ zu berechnen, wobei a_1 , a_2 und a_n die Koeffizienten der einzelnen Notchfiltermodelle sind.

[0019] Wenn das Mehrtonsignal ein Zweitonsignal ist, kann die Vorrichtung dazu eingerichtet sein, die Filterkoeffizienten der einzelnen Notchfiltermodelle nach folgenden Formeln aus den Filterkoeffizienten der Kombination der Notchfiltermodelle zu berechnen:

$$a_1 = b_1 / 2 - \sqrt{b_1^2 / 4 + 2 - b_2} ,$$

$$a_2 = b_1 / 2 + \sqrt{b_1^2 / 4 + 2 - b_2} .$$

[0020] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass die Vorrichtung dazu eingerichtet ist, die Stör-signal-Energie der dem Mehrtonsignal überlagerten Störung, aus den Filterkoeffizienten zu berechnen.

[0021] Zur Bestimmung der Amplituden kann die Vorrichtung dazu eingerichtet sein, den Datenvektor in die Form $x_n = c_1 \cos(n\omega_1) + s_1 \sin(n\omega_1) + c_2 \cos(n\omega_2) + s_2 \sin(n\omega_2) + \varepsilon_n$ zu bringen, wobei $n \in \mathbb{N}$ gilt, und c_1 , s_1 , c_2 , s_2 Amplitudenwerte und die ε_n kleine Fehlerwerte sind, wobei die Vorrichtung weiters dazu eingerichtet sein kann, die Amplitudenwerte c_1 , s_1 , c_2 , s_2 so zu bestimmen, dass die Summe der Quadrate der ε_n minimal ist und der Wert dieser Fehlerquadratsumme die Energie der dem Mehrtonsignal überlagerten Störung angibt.

[0022] Darüber hinaus kann die Vorrichtung dazu eingerichtet sein, die Amplituden nach folgenden Formeln aus den Amplitudenwerten c_1 , s_1 , c_2 , s_2 zu berechnen:

$$\hat{a}_1 = \sqrt{c_1^2 + s_1^2} \quad \text{und}$$

$$\hat{a}_2 = \sqrt{c_2^2 + s_2^2} .$$

[0023] Die Erfindung samt weiterer Vorteile wird im folgenden anhand einiger nicht einschränkender Ausführungsbeispiele, die in der Zeichnung veranschaulicht sind, schematisch dargestellt. In dieser zeigen:

[0024] Fig. 1 zwei Notchfiltermodelle (mit den Koeffizienten a_1 und a_2 , welche die Sperrfrequenzen bestimmen) und

[0025] Fig. 2 eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Berechnung von Filterkoeffizienten der Notchfiltermodelle aus Fig. 1.

[0026] Gemäß Fig. 1 geht man zur Bestimmung der Amplituden \hat{a}_1 , \hat{a}_2 und Frequenzen ω_1 , ω_2 eines Mehrtonsignals MSI von der Annahme aus, das Mehrtonsignal würde durch eine Hintereinanderschaltung von zwei Notchfiltermodellen (Doppelnotchfilter) geschickt, wobei man aus dem gegebenen Eingangssignal die Koeffizienten a_1 und a_2 dieser beiden Notchfiltermodelle so ermittelt, dass bei der (nur als Hilfsannahme dienenden) Filterung des Zweitonsignales mit den hintereinandergeschalteten Notchfiltern die Ausgangsleistung A^2 im eingeschwungenen Zustand minimal wird. Anhand der berechneten Filterkoeffizienten a_1 und a_2 können dann die Signalfrequenzen, die Amplituden sowie die Energie der dem Zweitonsignal überlagerten Störung ermittelt werden.

[0027] Gemäß Fig. 2 kann eine erfindungsgemäße Vorrichtung VOR, falls das Mehrtonsignal in analoger Form vorliegt, zunächst eine Tiefpassfilterung mittels eines Antialiasing-Filters ATF durchführen und hiernach kann das Mehrtonsignal einem Analog-Digital-Konverter ADC zugeführt werden.

[0028] Der Analog-Digital-Konverter ADC liefert Abtastwerte des Mehrtonsignals mit einer Abtastfrequenz, welche bekannterweise mindestens doppelt so hoch sein muss wie die höchste zu verarbeitende Frequenzkomponente des Mehrtonsignals. Beispielsweise beträgt bei DTMF-Zeichen die höchste zu verarbeitende Signalfrequenzkomponente 1633 Hz, sodass hier die Abtastfrequenz zu 4 kHz gewählt werden kann. Der Analog-Digital-Wandler ADC übermittelt seine Abtastwerte an eine Auswerteeinheit ASW zur Bestimmung der Amplituden \hat{a}_1 , \hat{a}_2 und Frequenzen ω_1 , ω_2 des Mehrtonsignals MSI sowie zur Bestimmung der Energie \bar{N} der dem Zweitonsignal überlagerten Störung.

[0029] Die erfindungsgemäße Auswerteeinheit ASW kann, beispielsweise ein digitaler Signalprozessor bzw. ein Mikroprozessor sein, der in einer zugehörigen Assemblersprache bzw. Hochsprache, wie Matlab, Mathematica, etc. programmiert sein kann. Die Abtastwerte können in einem Pufferspeicher PUS zwischengespeichert werden. Hierzu kann der Pufferspeicher PUS für $2 \cdot N$ Werte zyklisch beschrieben werden, wobei N die Blocklänge eines Datenblockes ist, der

auf das Vorhandensein eines Zweitonsignals ZSI untersucht wird.

[0030] Solange die Auswerteeinheit ASW eine Hälfte des Pufferspeichers mit aktuell anfallenden Abtastwerten beschreibt, können die Daten der anderen Pufferhälfte, wie im folgenden beschrieben, zur Bildung der in den folgenden Verarbeitungsschritten nötigen Größen verwendet werden (Ping-Pong-Puffer). Dadurch fällt mit der Taktfrequenz F/N jeweils ein neuer Datenvektor X_n an, der nun analysiert werden kann, wobei F die Abtastfrequenz ist und N beispielsweise zwischen ca. 10 und 100 Werten liegt.

[0031] Das erfindungsgemäße Verfahren basiert auf der erweiterten Methode von Prony zur Schätzung der Parameter von im allgemeinen komplexen Exponentialfunktionen aus vorgegebenen Datenwerten.

[0032] Ein einfaches Notchfilter mit dem Filterkoeffizienten a_1 der Form

$$H_1(z) = 1 + a_1 z^{-1} + z^{-2} \quad (1)$$

kann eine Sinusschwingung sperren (j bedeutet im folgenden die positive Wurzel aus -1):

$$1 + a_1 e^{-j\omega_1} + e^{-2j\omega_1} = e^{-j\omega_1} (e^{j\omega_1} + a_1 + e^{-j\omega_1}) = e^{-j\omega_1} (a_1 + 2\cos\omega_1) = 0 \quad (2)$$

wobei aus Gleichung (2) folgt

$$a_1 = -2\cos\omega_1 \quad (3)$$

[0033] Die Kombination $H(z)$ zweier Notchfilter $H_1(z)$ und $H_2(z)$,

$$H(z) = H_1(z)H_2(z) \quad (4)$$

wobei

$$H_2(z) = 1 + a_2 z^{-1} + z^{-2} \quad (5)$$

gilt, und a_2 der Filterkoeffizient des zweiten Notchfilters ist, kann ein Zweitonsignal ZSI sperren.

[0034] Eine Kombination von Notchfiltern mit einer Anzahl von n Filtern, wobei gilt $n > 0$, $n \in \mathbb{IN}$, kann eine Anzahl von n Frequenzen sperren.

[0035] Im folgenden soll das erfindungsgemäße Verfahren anhand eines Zweitonsignals erläutert werden. Prinzipiell ist das erfindungsgemäße Verfahren für Mehrtonsignale mit beliebig vielen Frequenzen geeignet, wobei jedoch der Rechenaufwand mit zunehmender Anzahl der in dem Mehrtonsignal enthaltenen Frequenzen steigt.

[0036] Mit (5) wird (4) zu

$$H(z) = 1 + (a_1 + a_2)z^{-1} + (a_1 a_2 + 2)z^{-2} + (a_1 + a_2)z^{-3} + z^{-4} \quad (6),$$

wobei die zweite Sperrfrequenz durch

$$a_2 = -2\cos\omega_2 \quad (7)$$

gegeben ist. Mit den Hilfskoeffizienten

$$b_1 = a_1 + a_2 \quad (8)$$

$$b_2 = a_1 a_2 + 2 \quad (9)$$

wird die Übertragungsfunktion des Doppelnotchfilters (6) zu

$$H(z) = 1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_1 z^{-3} + z^{-4} \quad (10).$$

Zur Bestimmung der beiden Frequenzen des Zweitonsignals ZSI werden die beiden Hilfskoeffizienten b_1 und b_2 in (10) so gewählt, dass das durch seine Abtastwerte gegebene Zweitonsignal ZSI

$$x_n, n = 0 \dots N-1 \quad (11)$$

beim Durchgang durch die Kombination $H(z)$ der Notchfilter $H_1(z)$, $H_2(z)$ maximal gedämpft wird.

[0037] Die Auswerteeinheit ASW ist dazu eingerichtet, aus den Datenwerten x_n zunächst die Hilfskoeffizienten b_1 , b_2 des Doppelnotchfilters, dann die Filterkoeffizienten a_1 , a_2 der einzelnen Notchfilter, dann die Frequenzen ω_1 , ω_2 , dann die Amplituden \hat{a}_1 , \hat{a}_2 sowie die Energie \bar{N} der dem Zweitonsignal überlagerten Störung zu berechnen.

[0038] Zunächst wird das Signal am Ausgang des Modells des Doppelnotchfilters, das nur als Hilfskonstruktion zur Bestimmung der Filterkoeffizienten dient, in Abhängigkeit der Hilfskoeffizienten b_1 , b_2 dargestellt.

$$\begin{bmatrix} x_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & x_0 & 0 & 0 & 0 \\ x_2 & x_1 & x_0 & 0 & 0 \\ x_3 & x_2 & x_1 & x_0 & 0 \\ x_4 & x_3 & x_2 & x_1 & x_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N-1} & x_{N-2} & x_{N-3} & x_{N-4} & x_{N-5} \\ 0 & x_{N-1} & x_{N-2} & x_{N-3} & x_{N-4} \\ 0 & 0 & x_{N-1} & x_{N-2} & x_{N-3} \\ 0 & 0 & 0 & x_{N-1} & x_{N-2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_{N-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 & 0 & 0 \\ x_1 & x_0 & 0 \\ x_2 & x_1 & x_0 \\ x_3 & x_2 + x_0 & x_1 \\ x_4 + x_0 & x_3 + x_1 & x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N-1} + x_{N-5} & x_{N-2} + x_{N-4} & x_{N-3} \\ x_{N-4} & x_{N-1} + x_{N-3} & x_{N-2} \\ x_{N-3} & x_{N-2} & x_{N-1} \\ x_{N-2} & x_{N-1} & 0 \\ x_{N-1} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ \vdots \\ A_{N-1} \\ A_N \\ A_{N+1} \\ A_{N+2} \\ A_{N+3} \end{bmatrix} \quad (12)$$

[0039] Für den Fall $N = 6$, d. h. die minimal notwendige Anzahl von Datenwerten zur Bestimmung der sechs Parameter des Zweitonsignals (2 Frequenzen, 2 Amplituden, 2 Nullphasenwinkel) können aus (12) b_1 und b_2 bestimmt werden, in dem die beiden linearen Gleichungen für

$$A_4 = 0 \quad (13)$$

$$A_5 = 0 \quad (14)$$

gelöst werden. Zur Verminderung des Einflusses eventuell vorhandener Rauschsignale in den Datenwerten ist es jedoch vorteilhaft N größer als 6 zu wählen.

[0040] Die Koeffizienten b_1 und b_2 werden so bestimmt, dass die Filterausgangsleistung für den eingeschwungenen Zustand minimal wird, d. h.

$$\sum_{i=4}^{N-1} A_i^2 \rightarrow \min \quad (15)$$

[0041] Mit der Matrix

$$D = \begin{bmatrix} x_4 + x_0 & x_3 + x_1 & x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N-1} + x_{N-5} & x_{N-2} + x_{N-4} & x_{N-3} \end{bmatrix} \quad (16)$$

und dem Vektor

$$b = [1, b_1, b_2]^T \quad (17)$$

führt dies auf die Minimierung der quadratischen Form

$$b^T D^T D b \rightarrow \min \quad (18)$$

mit der symmetrischen Matrix

$$E = \begin{bmatrix} e_{00} & e_{01} & e_{02} \\ e_{10} & e_{11} & e_{12} \\ e_{20} & e_{21} & e_{22} \end{bmatrix} = D^T D \quad (19)$$

[0042] Da die Matrix E aufgrund ihrer Konstruktion symmetrisch ist, müssen nur die auf und z. B. über der Hauptdiagonale liegenden Elemente berechnet werden.

[0043] Die quadratische Form (18) nimmt ihr Minimum für die Hilfskoeffizienten

$$b_1 = (e_{02}e_{12} - e_{01}e_{22}) / (e_{11}e_{22} - e_{12}^2) \quad (20)$$

und

$$b_2 = (e_{01}e_{12} - e_{11}e_{02}) / (e_{11}e_{22} - e_{12}^2) \quad (21)$$

an. Wenn der Ausdruck im Nenner $(e_{11}e_{22} - e_{12}^2)$ dem Betrag nach sehr klein wird oder verschwindet, ist dies ein Zeichen

dafür, dass in dem analysierten Datenvektor x_n kein ausreichend störungsfreies Zweitonsignal ZSI enthalten ist. Dies ist z. B. bei einem einzigen Sinussignal der Fall (keine zweite Sinuskomponente vorhanden). Ist hingegen der Nenner dem Betrag nach hinreichend groß, so werden die Hilfskoeffizienten b_1 und b_2 berechnet.

- [0044] Besteht das betrachtete Datensignal aus zwei reinen Sinussen (d. h. es ist kein Störsignal überlagert), wird das Minimum zu Null, da dann das Filter $H(z)$ beide Frequenzen exakt sperrt. Löst man die Gleichungen (8) und (9) nach den Filterkoeffizienten a_1 und a_2 der einzelnen Notchfilter auf, so erhält man:

$$a_1 = b_1 / 2 - \sqrt{b_1^2 / 4 + 2 - b_2} \quad (22)$$

$$a_2 = b_1 / 2 + \sqrt{b_1^2 / 4 + 2 - b_2} \quad (23)$$

- [0045] In der Auswerteeinheit ASW kann geprüft werden, ob der Ausdruck unter der Wurzel in (22) und (23) positiv ist. Ist dies nicht der Fall, so kann kein Zweitonsignal ZSI von der Auswerteeinheit detektiert werden. Weiters kann die Auswerteeinheit ASW dazu eingerichtet sein, zu überprüfen, ob die beiden Werte a_1 und a_2 im Intervall $[-2, 2]$ liegen, was zur Umkehrung der Gleichungen (3) und (7) erforderlich ist. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so wird von der Auswerteeinheit ASW kein Zweitonsignal ZSI detektiert. Mit (3) und (7) können die Werte für die beiden Signalfrequenzen ω_1, ω_2 zu

$$\omega_1 = \arccos(-a_1/2) \quad (24)$$

und

$$\omega_2 = \arccos(-a_2/2) \quad (25)$$

- berechnet werden.

[0046] Allgemein lässt sich sagen, dass sich im Fall einer Anzahl von n Frequenzen in dem Mehrtonsignal die n -te Frequenz ω_n aus dem n -ten Filterkoeffizienten a_n des die n -te Frequenz ω_n sperrenden einfachen Notchfiltermodells nach

$$\omega_n = \arccos(-a_n/2) \quad (25a)$$

berechnen lässt.

[0047] Die zugehörigen Frequenzen analoger Sinuskomponenten ergeben sich zu

$$f_1 = F \cdot \omega_1 / (2 \cdot \pi), f_2 = F \cdot \omega_2 / (2 \cdot \pi) \text{ und } f_n = F \cdot \omega_n / (2 \cdot \pi).$$

- [0048] Da die Berechnung der inversen Cosinusfunktion numerisch aufwendig ist, wird sie nur dann durchgeführt, wenn es unbedingt notwendig ist. Für die Bestimmung der Amplituden und der Störsignal-Energie kann man darauf verzichten. Wenn nicht die numerischen Werte der ermittelten Frequenzen als Endergebnis benötigt werden, sondern nur das Ergebnis eines Vergleichs der ermittelten Frequenzen mit ihren Sollwerten, so braucht man die inversen Cosinusfunktionen nicht zu berechnen, da die Vergleichsoperationen auch zwischen den Kosinuswerten der gemessenen Frequenzen und den Kosinuswerten der entsprechenden Schwellen durchgeführt werden können.

[0049] Zur Bestimmung von Amplitudenwerten c_1, s_1, c_2, s_2 kann für die gegebenen Datenwerte x_n folgender Ansatz gemacht werden:

$$x_n = c_1 \cos(n\omega_1) + s_1 \sin(n\omega_1) + c_2 \cos(n\omega_2) + s_2 \sin(n\omega_2) + \epsilon_n, n = 0, \dots, N-1 \quad (26),$$

wobei die ϵ_n kleine Fehlerwerte sind. Die Amplitudenwerte c_1, s_1, c_2, s_2 werden in der Auswerteeinheit ASW so bestimmt, dass die Summe der Quadrate der ϵ_n minimal wird.

[0050] Mit

$$x = [x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]^T \quad (27),$$

$$[B_v] = \begin{bmatrix} \cos(0\omega_1) & \sin(0\omega_1) & \cos(0\omega_2) & \sin(0\omega_2) \\ \cos(1\omega_1) & \sin(1\omega_1) & \cos(1\omega_2) & \sin(1\omega_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cos((N-1)\omega_1) & \sin((N-1)\omega_1) & \cos((N-1)\omega_2) & \sin((N-1)\omega_2) \end{bmatrix}, i = 0 \dots N-1, j = 0 \dots 3 \quad (28)$$

$$c = [c_1, s_1, c_2, s_2]^T \quad (29)$$

und

$$\epsilon = [\epsilon_0, \epsilon_1, \dots, \epsilon_{N-1}]^T \quad (30)$$

kann (26) in Matrixschreibweise als

$$x - Bc = \epsilon \quad (31)$$

geschrieben werden.

[0051] Die Elemente der obersten Zeile von B sind 1 für $j = 0, 2$ (da $\cos(0) = 1$) und 0 für $j = 1, 3$ (da $\sin(0) = 0$). Die Elemente der zweiten Zeile sind ebenfalls bekannt, da sie für $j = 0, 2$ mit (3) und (7) sofort aus den schon bekannten Koeffizienten a_1 und a_2 gefunden werden können und sich die zugehörigen Sinuswerte bei $j = 1, 3$ sich durch die Beziehung $\sin(\omega) = \sqrt{1 - \cos^2(\omega)}$ berechnen lassen. Die restlichen Elemente der Spalten von B lassen sich mit Hilfe der Rekursionsgleichung

$$x(n) - 2\cos(\omega)x(n-1) + x(n-2) = 0$$

berechnen, welche für trigonometrische Folgen der Bauart

$$x(n) = \cos(n \cdot \omega)$$

bzw.

$$x(n) = \sin(n \cdot \omega)$$

erfüllt ist, wobei die ersten beiden, nun schon bekannten Elemente jeder Spalte von B als Startwerte der Rekursion benutzt werden können.

[0052] Die Bedingung

$$\epsilon^T \epsilon \rightarrow \min \quad (32)$$

führt auf das lineare Gleichungssystem LGS:

$$Gc = g \quad (33)$$

mit der auf Grund ihrer Konstruktion symmetrischen Matrix G und dem Vektor g

$$G = B^T B \quad (33a)$$

$$g = B^T x \quad (33b)$$

welches mit einem direkten oder einem iterativen Verfahren, beispielsweise dem Gauss'schen Verfahren, nach dem Koeffizientenvektor c aufgelöst werden kann. Aus den Komponenten von c erhält man die endgültigen Amplitudenwerte

$$\hat{a}_1 = \sqrt{c_1^2 + s_1^2} \quad (34)$$

und

$$\hat{a}_2 = \sqrt{c_2^2 + s_2^2} \quad (35)$$

[0053] Die nachfolgende Bewertung der Amplituden \hat{a}_1, \hat{a}_2 kann aber auch mit den Quadraten der Amplituden \hat{a}_1, \hat{a}_2 durchgeführt werden, weshalb in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung zugunsten eines verringerten Rechenaufwandes in der Auswerteeinheit ASW auf die Berechnung der Wurzel in (34) und (35) verzichtet wird.

[0054] Darüber hinaus kann zur Bewertung der Amplituden \hat{a}_1, \hat{a}_2 überprüft werden, ob sie innerhalb geforderter Toleranzgrenzen liegen.

[0055] Weiters kann die Auswerteeinheit ASW dazu eingerichtet sein, die in dem analysierten Datenvektor x_n enthaltene Störenergie \bar{N} nach Glg. (36) zu berechnen, wobei die Störenergie \bar{N} der Summe der Fehlerquadrate beim Least-Squares-Fit zur Berechnung der Signalamplituden entspricht.

$$\bar{N} = x^T x - g^T c \quad (36)$$

[0056] Anhand der Störenergie \bar{N} kann das Signal-Rausch-Verhältnis zur Signalbewertung bestimmt werden. Sind alle Toleranzanforderungen für den aktuell analysierten Datenvektor x_n erfüllt, so kann auch noch weiters überprüft werden, ob die Toleranzanforderungen für eine vorgebbare Anzahl unmittelbar vorangegangener Datenvektoren x_n erfüllt sind. Diese Überprüfung kann in der Auswerteeinheit ASW beispielsweise in Form einer sogenannten "State-Machine" implementiert sein. Das Ergebnis ERG der Überprüfung ist entweder "ein durch ein Mehrtonsignal, beispielsweise ein Zweitonsignal ZSI, repräsentiertes Zeichen wurde erkannt" oder "kein Zeichen erkannt".

[0057] Die berechneten Amplituden und Frequenzen können von der Auswerteeinheit ASW auch einer Anwendung ANW bzw. einem Anwendungsprogramm zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Frequenzen (ω_1, ω_2) und Amplituden (\hat{a}_1, \hat{a}_2) eines zumindest zwei Frequenzen (ω_1, ω_2) enthaltenden Mehrtonsignals (ZSI), **dadurch gekennzeichnet**, dass anhand des Mehrtonsignals eine der Anzahl von Frequenzen (ω_1, ω_2) entsprechende Anzahl von Filterkoeffizienten (a_1, a_2) von Notchfiltermodellen

($H_1(z)$, $H_2(z)$) berechnet wird, wobei die Filterkoeffizienten (a_1 , a_2) so berechnet werden, dass bei Durchgang des Mehrtonsignals durch eine durch die Filterkoeffizienten (a_1 , a_2) definierte Kombination ($H(z)$) von Notchfiltermodellen ($H_1(z)$, $H_2(z)$) die Ausgangsleistung (A^2) minimal ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Mehrtonsignal (ZSI) als analoges Signal vorliegt und in eine digitalisierte Form in Form eines Datenvektors (x_n) gebracht wird, aus welchem eine Matrix (D) der Form

$$D = \begin{bmatrix} x_4 + x_0 & x_3 + x_1 & x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N-1} + x_{N-5} & x_{N-2} + x_{N-4} & x_{N-3} \end{bmatrix}$$

gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass aus den noch unbekannten Filterkoeffizienten (a_1 , a_2) der einzelnen Notchfiltermodelle ($H_1(z)$, $H_2(z)$) zumindest zwei Filterkoeffizienten (b_1 , b_2) der Kombination ($H(z)$) der Notchfiltermodelle ($H_1(z)$, $H_2(z)$) gebildet werden, und aus den Filterkoeffizienten (b_1 , b_2) ein Vektor (b) der Form $b = [1, b_1, b_2]^T$ gebildet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass für zwei Filterkoeffizienten (b_1 , b_2) der Kombination ($H(z)$) der Notchfiltermodelle ($H_1(z)$, $H_2(z)$) die Beziehungen $b_1 = a_1 + a_2$ und $b_2 = a_1 a_2 + 2$ gelten.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine quadratische Form der Gestalt $b^T D^T D b$ zur Bestimmung der Filterkoeffizienten (b_1 , b_2) minimiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenzen (ω_1 , ω_2) des Mehrtonsignals (ZSI) nach den Formeln $\omega_1 = \arccos(-a_1/2)$, $\omega_2 = \arccos(-a_2/2)$ und $\omega_n = \arccos(-a_n/2)$ berechnet werden, wobei a_1 , a_2 und a_n die Koeffizienten der einzelnen Notchfiltermodelle sind.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Mehrtonsignal ein Zweitonsignal ist und Koeffizienten (a_1 , a_2) der einzelnen Notchfiltermodelle nach folgenden Formeln aus den Filterkoeffizienten (b_1 , b_2) der Kombination ($H(z)$) der Notchfiltermodelle ($H_1(z)$, $H_2(z)$) berechnet werden:

$$a_1 = b_1 / 2 - \sqrt{b_1^2 / 4 + 2 - b_2} ,$$

$$a_2 = b_1 / 2 + \sqrt{b_1^2 / 4 + 2 - b_2} .$$

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Störsignal-Energie \bar{N} der dem Mehrtonsignal überlagerten Störung, aus den Filterkoeffizienten (a_1 , a_2) berechnet wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung der Amplituden (\hat{a}_1 , \hat{a}_2) der Datenvektor (x_n) in folgende Form gebracht wird:

$x_n = c_1 \cos(n\omega_1) + s_1 \sin(n\omega_1) + c_2 \cos(n\omega_2) + s_2 \sin(n\omega_2) + \epsilon_n$, wobei $n = 0, \dots, N-1$ gilt, und c_1 , s_1 , c_2 , s_2 Amplitudenwerte und die ϵ_n kleine Fehlerwerte sind.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplitudenwerte c_1 , s_1 , c_2 , s_2 so bestimmt werden, dass die Summe der Quadrate der ϵ_n minimal wird und der Wert dieser Fehlerquadratsumme die Energie der dem Zweitonsignal überlagerten Störung angibt.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Amplituden (\hat{a}_1 , \hat{a}_2) nach folgenden Formeln berechnet werden:

$$\hat{a}_1 = \sqrt{c_1^2 + s_1^2} \quad \text{und} \quad \hat{a}_2 = \sqrt{c_2^2 + s_2^2} .$$

12. Vorrichtung zur Bestimmung von Frequenzen (ω_1 , ω_2) und Amplituden (\hat{a}_1 , \hat{a}_2) eines zumindest zwei Frequenzen (ω_1 , ω_2) enthaltenden Mehrtonsignals (ZSI), dadurch gekennzeichnet, dass sie dazu eingerichtet ist, anhand des Mehrtonsignals eine der Anzahl von Frequenzen (ω_1 , ω_2) entsprechende Anzahl von Filterkoeffizienten (a_1 , a_2) von Notchfiltermodellen ($H_1(z)$, $H_2(z)$) zu berechnen, wobei sie dazu eingerichtet ist, die Filterkoeffizienten (a_1 , a_2) so zu berechnen, dass bei Durchgang des Mehrtonsignals durch eine durch die Filterkoeffizienten (a_1 , a_2) definierte Kombination ($H(z)$) von Notchfiltermodellen ($H_1(z)$, $H_2(z)$) die Ausgangsleistung (A^2) minimal ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass sie dazu eingerichtet ist, ein als analoges Signal vorliegendes Zweitonsignal (ZSI) in eine digitalisierte Form in Form eines Datenvektors (x_n) zu bringen, und aus dem Datenvektor (x_n) eine Matrix (D) der Form

$$D = \begin{bmatrix} x_4 + x_0 & x_3 + x_1 & x_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N-1} + x_{N-5} & x_{N-2} + x_{N-4} & x_{N-3} \end{bmatrix}$$

zu bilden.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass sie dazu eingerichtet ist, aus den unbekannten Filterkoeffizienten (a_1 , a_2) der einzelnen Notchfiltermodelle ($H_1(z)$, $H_2(z)$) zumindest zwei Filterkoeffizienten (b_1 , b_2) der Kombination ($H(z)$) der Notchfiltermodelle ($H_1(z)$, $H_2(z)$) zu bilden, und aus den Filterkoeffizienten (b_1 , b_2) einen Vektor (b) der Form $b = [1, b_1, b_2]^T$ zu bilden.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass für zwei Filterkoeffizienten (b_1 , b_2) der Kombi-

nation ($H(z)$) der Notchfiltermodelle ($H_1(z)$, $H_2(z)$) die Beziehungen $b_1 = a_1 + a_2$ und $b_2 = a_1 a_2 + 2$ gelten.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass sie dazu eingerichtet ist, eine quadratische Form der Gestalt $b^T D^T D b$ zur Bestimmung der Filterkoeffizienten (b_1 , b_2) der Kombination ($H(z)$) der Notchfiltermodelle ($H_1(z)$, $H_2(z)$) zu minimieren.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass sie dazu eingerichtet ist, die Frequenzen (ω_1 , ω_2) des Mehrtonsignals (ZSD) nach den Formeln $\omega_1 = \arccos(-a_1/2)$, $\omega_2 = \arccos(-a_2/2)$ und $\omega_n = \arccos(-a_n/2)$ zu berechnen, wobei a_1 , a_2 und a_n die Filterkoeffizienten der einzelnen Notchfiltermodelle ($H_1(z)$, $H_2(z)$) sind.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Mehrtonsignal ein Zweitonsignal ist und die Vorrichtung dazu eingerichtet ist, die Filterkoeffizienten (a_1 , a_2) der einzelnen Notchfiltermodelle ($H_1(z)$, $H_2(z)$) nach folgenden Formeln aus den Filterkoeffizienten (b_1 , b_2) der Kombination ($H(z)$) der Notchfiltermodelle ($H_1(z)$, $H_2(z)$) zu berechnen:

$$a_1 = b_1/2 - \sqrt{b_1^2/4 + 2 - b_2} \quad , \quad a_2 = b_1/2 + \sqrt{b_1^2/4 + 2 - b_2} \quad .$$

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass sie dazu eingerichtet ist, die Störsignal-Energie (N) der dem Mehrtonsignal überlagerten Störung, aus den Filterkoeffizienten (a_1 , a_2) zu berechnen.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass sie dazu eingerichtet ist, zur Bestimmung der Amplituden (\hat{a}_1 , \hat{a}_2) den Datenvektor (x_n) in die Form $x_n = c_1 \cos(n\omega_1) + s_1 \sin(n\omega_1) + c_2 \cos(n\omega_2) + s_2 \sin(n\omega_2) + \epsilon_n$ zu bringen, wobei $n \in N$ gilt, und c_1 , s_1 , c_2 , s_2 Amplitudenwerte und die ϵ_n kleine Fehlerwerte sind.

21. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass sie dazu eingerichtet ist, die Amplitudenwerte (c_1 , s_1 , c_2 , s_2) so zu bestimmen, dass die Summe der Quadrate der ϵ_n minimal ist und anhand dieser Fehlerquadratsumme die Störsignalenergie zu berechnen.

22. Vorrichtung nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass sie dazu eingerichtet ist, die Amplituden (\hat{a}_1 , \hat{a}_2) nach folgenden Formeln aus den Amplitudenwerten (c_1 , s_1 , c_2 , s_2) zu berechnen:

$$\hat{a}_1 = \sqrt{c_1^2 + s_1^2} \quad \text{und} \quad \hat{a}_2 = \sqrt{c_2^2 + s_2^2} \quad .$$

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

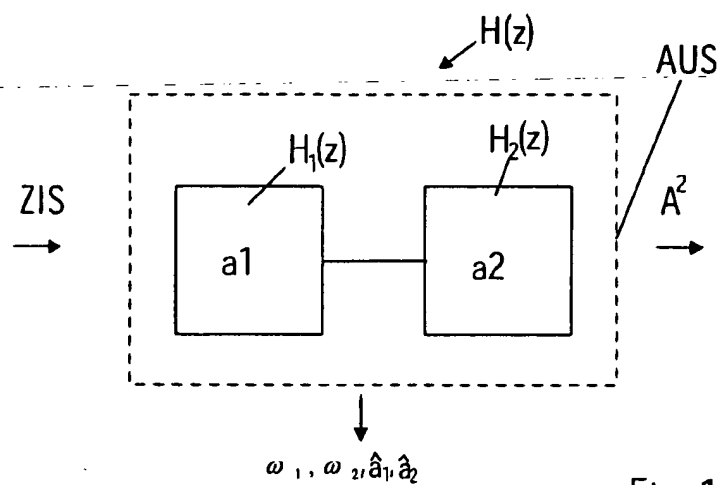


Fig. 1

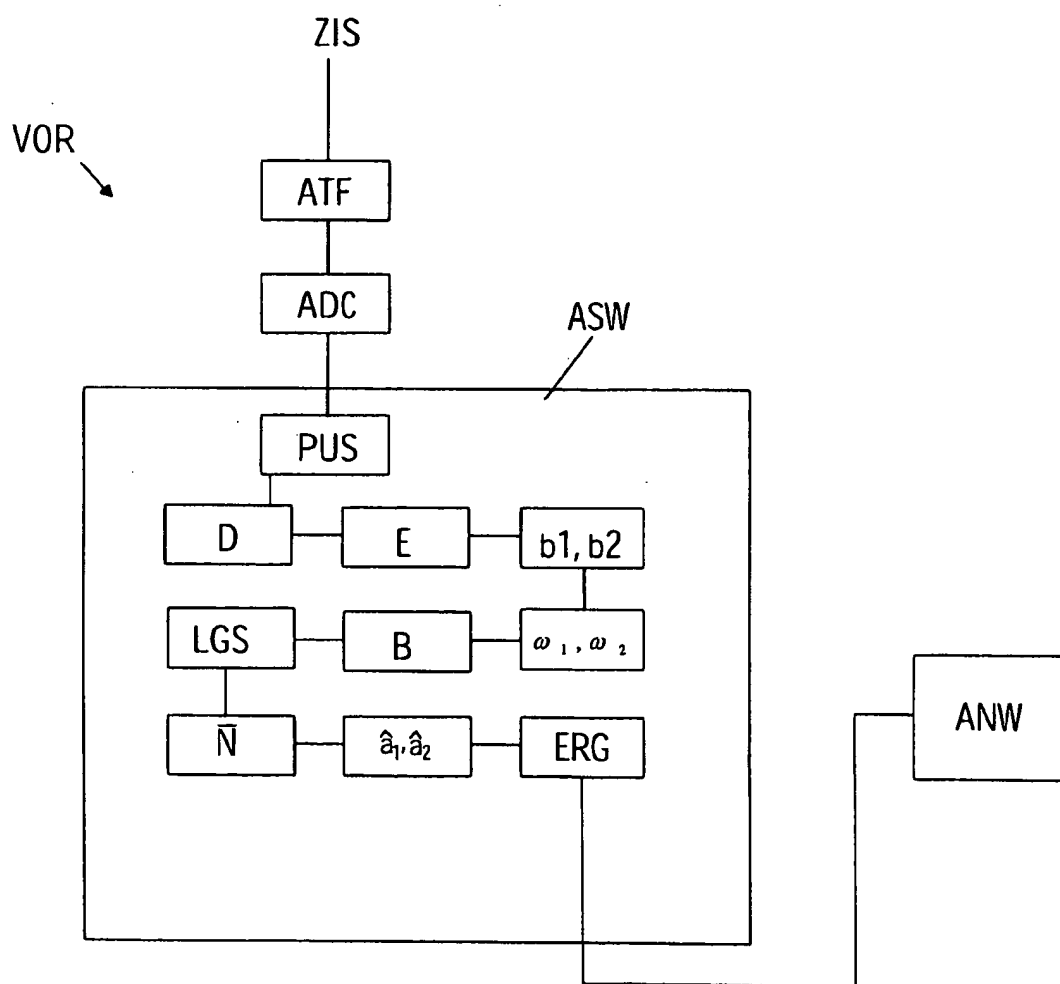


Fig. 2

DERWENT-ACC-NO: 2004-134196

DERWENT-WEEK: 200414

COPYRIGHT 2004 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Measuring multi-tone signal frequencies and
amplitudes
minimal output involves computing filter coefficients for
notch power as signal passes through combination of
filter models defined by coefficients

INVENTOR: ROHRECKER, L

PATENT-ASSIGNEE: SIEMENS AG[SIEI]

PRIORITY-DATA: 2001DE-1031251 (June 28, 2001)

PATENT-FAMILY:

| PUB-NO | PUB-DATE | LANGUAGE |
|-----------------|-------------------|----------|
| PAGES MAIN-IPC | | |
| DE 10131251 B4 | February 12, 2004 | N/A |
| 000 G01R 023/02 | | |
| DE 10131251 A1 | January 23, 2003 | N/A |
| 010 G01R 023/02 | | |

APPLICATION-DATA:

| PUB-NO | APPL-DESCRIPTOR | APPL-NO |
|---------------|-----------------|----------------|
| APPL-DATE | | |
| DE 10131251B4 | N/A | 2001DE-1031251 |
| June 28, 2001 | | |
| DE 10131251A1 | N/A | 2001DE-1031251 |
| June 28, 2001 | | |

INT-CL (IPC): G01R023/02

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 10131251A

BASIC-ABSTRACT:

NOVELTY - The method involves using the multi-tone signal to compute a number of filter coefficients of notch filter models corresponding to the number of frequencies (w1,w2). The filter coefficients are computed so that the output

power is minimal when the multi-tone signal passes through a combination of notch filter models defined by the filter coefficients.

DETAILED DESCRIPTION - AN INDEPENDENT CLAIM is also included for a device for measuring frequencies and amplitudes of multi-tone signals.

USE - For measuring frequencies and amplitudes of multi-tone signals.

ADVANTAGE - Enables signaling information to be obtained using the frequencies and amplitudes of multi-tone signals in order to make further processing accessible.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a schematic representation of an inventive device for computing filter coefficients for notch filter models

analogue to digital converter ADC

user program ANW

evaluation unit ASW

anti-aliasing filter ATF

frequencies w_1 , w_2

buffer memory PUS

CHOSEN-DRAWING: Dwg.2/2

TITLE-TERMS: MEASURE MULTI TONE SIGNAL FREQUENCY AMPLITUDE
COMPUTATION FILTER
COEFFICIENT MINIMUM OUTPUT POWER SIGNAL PASS THROUGH
COMBINATION
NOTCH FILTER MODEL DEFINE COEFFICIENT

DERWENT-CLASS: S01 T01 U22

EPI-CODES: S01-D03C; T01-J04B; T01-J18; U22-G01B4;

SECONDARY-ACC-NO:

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N2004-107016